

(19)



URZĄD  
PATENTOWY  
RZECZYPOSPOLITEJ  
POLSKIEJ

(10) **PL 246661 B1**

(12)

## Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **437576**

(22) Data zgłoszenia: **2021.04.13**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.10.17 BUP 42/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2025.02.24 WUP 08/2025**

(51) MKP:

**F28D 20/02** (2006.01)

**F24T 10/30** (2018.01)

**B65G 5/00** (2006.01)

**F25J 5/00** (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**OKONIEWSKI DARIUSZ PIOTR**, Gdynia, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:

**DARIUSZ PIOTR OKONIEWSKI**, Gdynia, PL

(54) Tytuł:

**Sposób magazynowania ciepła**

**PL 246661 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób magazynowania dużych ilości ciepła, poprzez wykorzystanie energii przemiany fazowej dwutlenku węgla, szczególnie w powiązaniu z sekwestracją, wydobywaniem gazu ziemnego i ropy naftowej, oraz pobieraniem energii geotermicznej.

Wyróżnia się trzy podstawowe systemy magazynowania energii cieplnej:

- poprzez wykorzystanie ciepła właściwego,
- wykorzystanie energii przemian fazowych (PCM),
- wykorzystanie ciepła przemian chemicznych.

Materiał PCM to substancja zmiennofazowa, która jest w stanie absorbować, akumulować i uwalniać energię w zakresie temperatury przemiany fazowej. Podczas przemiany fazowej mogą być pochłaniane lub wydzielane znaczne ilości ciepła przy praktycznie niezmiennej temperaturze złoża. Wszystkie znane obecnie metody koncentrują się na materiałach akumulujących ciepło w wyniku przemiany ciała stałe – ciecz. Są to substancje organiczne (parafiny, kwasy tłuszczowe, ciecze jonowe), oraz nieorganiczne (uwodnione sole). Zgromadzenie i trwałe zmagazynowanie dużych ilości tych substancji, wraz z systemem doprowadzania i odprowadzania ciepła, wiąże się z dużymi kosztami. Jedynie odpowiednio duża masa gwarantuje uzyskanie znaczących ilości ciepła. To sprawia, że koszt 1 MJ jest dużo wyższy od ciepła pochodzącego z bieżącej produkcji, w konwencjonalny sposób.

Znane są metody podziemnego składowania dwutlenku węgla, po jego zatłoczeniu pod ziemię. Jako miejsce składowania może posłużyć pole naftowe, pole gazowe, pozabilansowe pokłady węgla. Pułapki fizyczne i geochemiczne zapobiegają wydostaniu się CO<sub>2</sub> na powierzchnię. Zatłaczanie CO<sub>2</sub> w pole naftowe powoduje zwiększenie wydobywania. W Stanach Zjednoczonych około 30 do 50 mln ton gazu jest wtryskiwane w skały ubogie w ropę. Ciekły CO<sub>2</sub> jest rozpuszczalnikiem obniżającym lepkość i gęstość ropy.

Znane są badania Instytutu Nafty i Gazu – PIB nad pozyskaniem pozabilansowych zasobów gazu ziemnego z nasyconych poziomów solankowych w procesach sekwestracji (Warnecki M.: „Analiza możliwości pozyskiwania pozabilansowych zasobów gazu ziemnego z nasyconych poziomów solankowych w procesach sekwestracji CO<sub>2</sub>.” Instytut Nafty i Gazu – PIB 2016). Szacuje się, że w Polsce na obszarze tzw. niecki poznańskiej, w rozległych głębokich solankowych poziomach wodonośnych rozpuszczone jest 120 mld Nm<sup>3</sup> gazu ziemnego. Rozpuszczalność CO<sub>2</sub> w solance jest ok 10 razy większa niż gazu ziemnego. Nasycenie solanki CO<sub>2</sub> uwalnia ok 37% zawartego w niej gazu ziemnego. Uwolniony, będzie on następnie migrował ku górze i gromadził się pod warstwą nieprzepuszczalną, w postaci złóż soczewkowych.

Znane są podejmowane ostatnio wdrożenia dwutlenku węgla w chłodnictwie komercyjnym jak i przemysłowym, oraz klimatyzacji. Szczególnie z zastosowaniem obiegu chłodniczego, częściowo w obszarze nadkrytycznym (Artykuł: Maurycy Szwałkajzer “Podwyższenie HP na potrzebę odzysku ciepła w końcu opłacalne” ENRECO 26 czerwca 2017 r. <https://enreco.pl/podwyzszenie-hp-potrzebeodzysku-ciepła-koncu-polacalne/>).

Barierą we wdrażaniu magazynów ciepła opartych na dwutlenku węgla jest konieczność stosowania wysokich ciśnień w wielkokubaturowych zbiornikach.

W sposobie według wynalazku ciepło magazynowane jest z wykorzystaniem gazowego dwutlenku węgla, zamkniętego w zbiorniku podziemnym jako ciepło utajone przemiany fazowej.

Zaletą magazynowania ciepła w ten sposób Jest to, że CO<sub>2</sub> jest gazem obojętnym, rozpowszechnionym w naturze i niepalnym. W przeciwieństwie do substancji stałych, służących do kumulowania ciepła utajonego, istnieje łatwość dokonywania przemieszczania jego masy do przygotowanego miejsca przemiany fazowej. Właściwości dwutlenku węgla są takie, że magazynowanie go w stanie gazowym, w temperaturze dodatniej, wymaga stosowania ciśnienia nie przekraczającego 35 bar. Dzięki temu naziemna instalacja może mieć relatywnie niewielkie rozmiary. Przy ciśnieniu 50 bar i 15°C w 1 m<sup>3</sup> można zmagazynować ponad 25 MJ ciepła, jako ciepła przemiany fazowej.

W rozwiązaniu wg wynalazku wykorzystuje się własności struktury geologicznej ziemi. Kluczowe jest istnienie warstwy nieprzepuszczalnej w kierunku powierzchni ziemi, uniemożliwiającej przenikanie CO<sub>2</sub> na powierzchnię i jednocześnie miejsc mogących pełnić rolę pułapek geologicznych. Szczególnie przydatne są naturalne zbiorniki gazu ziemnego. Przy czym niezwykle istotne jest aby ciśnienie na poziomie zbiornika, wytworzone przez nadkład lub warstwy wodonośne mające kontakt powierzchniowy z atmosferą, zawierało się w granicach znacząco niższych niż parametry krytyczne dla dwutlenku węgla. Temperatura krytyczna wynosi 31,1°C a ciśnienie krytyczne 73,83 bar. Gęstość krytyczna CO<sub>2</sub>

wynosi  $468 \text{ kg/m}^3$ . Poniżej tych parametrów gazowy dwutlenek węgla posiada ciepło utajone przemiany fazowej.

Kolejną bardzo korzystną okolicznością jest, gdy soczewkowy zbiornik podścielony jest warstwą wodonośną w strukturze o dobrej przepuszczalności. Można wówczas zatłaczać duże ilości  $\text{CO}_2$  przy niedużym stożku ciśnieniowym wokół rury tłoczenia. Możliwe jest utrzymanie ciśnienia gazu wypełniającego zbiornik w pewnych względnie stałych granicach. Wody głębinowe łatwo się wówczas przemieszczają przy zmianach ciśnienia magazynowanego gazu. W oczywisty sposób, wydajność zatłaczania  $\text{CO}_2$  można poprawić poprzez jednoczesne wykonywanie tego w większej ilości miejsc. Szczególnie przydatne są wyeksploatowane złoża gazu ziemnego, utworzone podstropowo w warstwie wodonośnej. Takie zbiorniki są w zasadzie gotowe do wypełniania  $\text{CO}_2$ .

Wykorzystanie zbiorników gazu ziemnego wyeksploatowanych i niewielkich nowo odkrytych, pozwala znacząco podnieść opłacalność przedsięwzięcia. Występujący w pobieranym  $\text{CO}_2$  gaz ziemny, jako domieszka, może być łatwo oddzielony, gdyż w procesie skraplania  $\text{CO}_2$  pozostaje w fazie gazowej. Cechą charakterystyczną takich złóż jest bowiem obecność rozpuszczonego i koloidalnego metanu w okolicznych wodach złożowych. W początkowym okresie magazynowania ciepła znaczne ilości  $\text{CO}_2$  będą się rozpuszczać w wodzie głębinowej. Stężenie  $\text{CO}_2$  będzie maleć w miarę oddalania się od strefy styku faz. W miarę upływu czasu zjawisko to będzie zachodzić coraz słabiej, do osiągnięcia stanu nasycenia. Nasycaniu wody złożowej dwutlenkiem węgla towarzyszyć będzie wypieranie z niej metanu, którego mikropęcherzyki migrować będą w górę, zasilając zbiornik soczewkowy. Czas występowania tych zjawisk jest uzależniony od przepuszczalności materiału skalnego i ruchu mas wodnych nasyconych metanem. Ze zjawiskiem tym nieodłącznie wiąże się sekwestracja dwutlenku węgla. Trzeba bowiem uzupełniać magazynowany w zbiorniku  $\text{CO}_2$ , ze względu na stratę rozpuszczania. To kolejna korzyść ze stosowania wynalazku, występująca do czasu całkowitego nasycenia  $\text{CO}_2$  okolicznych wód złożowych. Niezaprzeczalną korzyścią jest również możliwość pobierania ciepła geotermalnego przez magazynowany dwutlenek węgla. Będzie tak się działo zawsze, gdy wtłaczać będziemy do zbiornika złożowego dwutlenek węgla o temperaturze niższej niż naturalna temperatura panująca w obszarze zbiornikowym. Po pewnym okresie magazynowania jego temperatura wyrówna się z temperaturą złożową.  $\text{CO}_2$  wydobyty na powierzchnię będzie miał entalpię znacząco wyższą niż  $\text{CO}_2$  zatłaczany. Zjawisko to będzie występować przez cały czas eksploatacji magazynu ciepła, ze względu na stały dopływ ciepła z głębi ziemi. Różnica w entalpii będzie szczególnie duża, gdy  $\text{CO}_2$  zatłaczany będzie do miejsc o dużo wyższej temperaturze.

Magazyny ciepła wg wynalazku są lepszą alternatywą dla eksploatacji ciepła geotermalnego, niż bezpośrednio wydobywanie ciepłych wód geotermalnych. Eliminuje się przede wszystkim zjawisko stopniowej utraty przepuszczalności przez strukturę wodonośną i konieczność kosztownego jej udroźniania. Sposób wg wynalazku umożliwia pozyskiwanie ciepła geotermalnego ze złóż wodonośnych przy jednoczesnej intensywnej sekwestracji  $\text{CO}_2$ .

Dla dokonania przemiany fazowej dwutlenek węgla wydobywany jest na powierzchnię i przewodem rurowym dopływa do naziemnego wymiennika ciepła. Panują w nim takie parametry ciśnienia i temperatury, że następuje skroplenie  $\text{CO}_2$  a ciepło skraplania oddane zostaje drugiemu medium. Skroplony  $\text{CO}_2$  przepływa następnie przewodem rurowym do drugiego zbiornika podziemnego znajdującego się głębiej, który gromadzi go w stanie ciekłym lub w stanie nadkrytycznym, ciekłopodobnym. Rozwiązanie to umożliwia użycie tego dwutlenku węgla ponownie w celu pobrania ciepła do magazynowania. Daje to możliwość ponawiania tego cyklu wielokrotnie. Ciepło do magazynowania dostarcza inne medium doprowadzane do wymiennika przemiany fazowej.

Korzystne jest gdy właściwości medium pobierającego ciepło od zmagazynowanego, gazowego dwutlenku węgla pozwalają na przeprowadzenie tego procesu w temperaturze mało odbiegającej od temperatury magazynowania.

Rozwiązanie takie umożliwia zastosowanie jedynie jednostopniowego sprężenia przed skropleniem a wymagany stopień sprężenia mieści się w osiągniętych typowych sprężarkach turbinowych.

Koniecznym warunkiem całego obiegu termodynamicznego dwutlenku węgla jest utrzymanie dodatnich temperatur. Cały czas w gazowym i ciekłym  $\text{CO}_2$  znajduje się pewna ilość wody. Rozwiązanie to eliminuje konieczność każdorazowego osuszania  $\text{CO}_2$ . W przeciwnym razie ujemne temperatury powodować będą zalodzenie powierzchni wymiany ciepła. W strukturze skalnej zamarzająca woda zamknie pory i uczyni ją nieprzepuszczalną. W dodatnich temperaturach można traktować wodę jako balast towarzyszący procesowi.

Warunkiem przebiegu procesu poboru ciepła do magazynowania jest utrzymywanie w wymienniku ciepła parametrów podkrytycznych, powodujących wrzenie ciekłego CO<sub>2</sub>. Zbiornik podziemny skroplonego lub skompresowanego dwutlenku węgla musi dawać możliwość dłuższego magazynowania, dlatego oprócz wystarczającej szczelności musi zapewnić trwałe utrzymanie parametrów gazu skroplonego. W praktyce musi znajdować się na takiej głębokości, że nadkład wytworzy w sposób naturalny odpowiednio wysokie ciśnienie. Zbiornik ten jest zawsze usytuowany głębiej. Przy głębokościach przekraczających 900 m, CO<sub>2</sub> zawsze znajdował się będzie w stanie nadkrytycznym, ciekłopodobnym. Dla utrzymania stabilnych parametrów eksploatacyjnych niezbędne jest zastosowanie cieczy waporowej. Wówczas eliminuje się cykliczne, duże zmiany ciśnienia, które mogą prowadzić do pęknięcia nieprzepuszczalnej struktury zbiornika. W sposób naturalny funkcję cieczy waporowej pełnią wody głębinowe, z reguły zasolone.

Jednak możliwe jest również usytuowanie zbiornika ciekłego CO<sub>2</sub> powyżej granicy ciśnienia przemiany fazowej dwutlenku węgla, ciecz – gaz. Wówczas magazynowaniu towarzyszyć będzie wzrost ciśnienia i przemiana cieczy w gaz, do osiągnięcia stanu równowagi, po obniżeniu się dolnej granicy faz. Poziom złoże ciekłego CO<sub>2</sub> odpowiednio się obniży, bo on determinuje wartość ciśnienia podstropowej frakcji gazowej. Stosownie cofną się w dół również wody solankowe. Jeśli gazowy CO<sub>2</sub> będzie pobierany z odpowiednim natężeniem poziom zalegania CO<sub>2</sub> nie ulegnie zmianie i stan dynamicznej równowagi fazowej będzie stale się utrzymywał, dopóki istniała będzie faza ciekła. W tych warunkach zarówno napełnianiu zbiornika jak i opróżnianiu towarzyszy przemiana termodynamiczna i zmiany temperatury złoże. Na przebieg tego procesu duży wpływ będzie miał napływ ciepła z głębi struktury geologicznej. Znajomość tych procesów w konkretnych warunkach złożowych ma decydujące znaczenie dla umiejscowienia końcowego odcinka rury odwiertu, którą będzie pobierany ciekły CO<sub>2</sub>. Przy braku kontroli tego procesu, gromadzący się w stropowej części zbiornika, gazowy CO<sub>2</sub> będzie powodował wypieranie frakcji ciekłych w głąb struktury geologicznej i koniec rury poboru ciekłego CO<sub>2</sub> znajdzie się w obrębie CO<sub>2</sub> gazowego. W wyniku niekontrolowanego procesu, ciekły CO<sub>2</sub> może wypływać poza pułapkę zbiornikową. Korzystnym jest pobieranie gazowego CO<sub>2</sub> z części podstropowej zbiornika i transportowanie go do płytszego zbiornika geologicznego z gazowym CO<sub>2</sub>. Zapobiegać to będzie przesuwaniu się w głąb złoże głębokiego granicy faz i stopniowego wzrostu ciśnienia podstropowego, aż do granicy parametrów krytycznych CO<sub>2</sub>. Również zatłaczanie zimnego, ciekłego dwutlenku węgla, po przemianie fazowej w wymienniku, powodować będzie chłodzenie złoże i w różnym stopniu może korzystnie wpływać na przemianę fazową w jego obrębie.

Rozwiązanie to umożliwia ciągłe, uboczne pobieranie ciepła geotermicznego, z głębszych struktur geologicznych i jednocześnie utrzymanie stałego ciśnienia hydrostatycznego, właściwego dla danej głębokości. Następować będzie jedynie relatywnie niewielki wzrost ciśnienia dynamicznego jako niezbędna siła napędowa procesu przemieszczania masy. Dominujące warstwowe ułożenie struktur geologicznych, gdy warstwy nieprzepuszczalne występują na przemian z warstwami wodonośnymi, sprawia, że potencjalnie każde wypiętrzenie skały pierwotnej może być miejscem występowania na różnych głębokościach przydatnych pułapek geologicznych a właśnie ze względów procesowych pożądane jest aby obydwa zbiorniki znajdowały się blisko siebie a najlepiej aby oddzielała je. Jedynie różnica poziomów.

Możliwe jest również wykonanie zbiornika głębokiego w skale zbiornikowej zawierającej gaz zamknięty, przez dokonanie szczelinowania odwiertu poziomego. Jednak najlepszy efekt uzyska się, gdy w skale łupkowej o skłonnościach do ponownego zwierania szczelin, od odwiertu pionowego wykona się kilka odwiertów poziomych i szczelinowanie przeprowadzone zostanie przy pomocy ciekłego CO<sub>2</sub>. Wówczas magazynowanie każdorazowo odbywać się będzie w "rozdymanym" złożu łupków. Ciśnienie magazynowania w złożu będzie jedynie niewiele niższe od ciśnienia szczelinowania. Pobieranie ciekłego CO<sub>2</sub> związane będzie z kurczeniem się skały łupkowej przez ponowne zwieranie szczelin. Procent CO<sub>2</sub> możliwego do wydobywania będzie zależny od lokalnych właściwości łupków. Rozwiązanie szczególnie korzystne będzie w przypadku łupków z materiałem ilastym pęczniejącym w przypadku szczelinowania hydraulicznego.

Rozwiązanie to może uczynić rentownymi złoża łupków bitumicznych, w których wykonane odwierty i szczelinowania, nie zakończone zostały odpowiednio dużym wydobywaniem. Korzystnym jest, by po przemianie fazowej w wymienniku zatłaczać do zbiornika płytkiego gazowy CO<sub>2</sub> razem z zawartym w nim metanem. Można wówczas w okresie zimowym pozyskiwać go przy okazji wykraplania CO<sub>2</sub> w czasie pobierania ciepła w wymienniku. W przypadku eksploatacji magazynowej zbiorników podścienionych wodami solankowymi, ciśnienie wód głębinowych wytwarzane we wnętrzu zbiornika ciekłego

CO<sub>2</sub> będzie wyższe niż ciśnienie słupa ciekłego CO<sub>2</sub> w rurze doprowadzającej. Wynika to z mniejszej gęstości ciekłego CO<sub>2</sub>. Zatlaczanie ciekłego CO<sub>2</sub> do zbiornika wymaga więc pokonania tej różnicy ciśnień. Pozytywnie na cały proces rzutuje fakt, że na ciśnienie zatlaczania ciekłego CO<sub>2</sub> składa się ciśnienie CO<sub>2</sub> pobieranego ze zbiornika gazowego, powiększone o dodatkowe sprężenie w celu skroplenia a pompy doprowadzają ciekły CO<sub>2</sub> jedynie do ciśnienia końcowego zatlaczania z wymaganym natężeniem. W takich warunkach wypływ ciekłego CO<sub>2</sub> odbywał się będzie samoistnie.

Proces pobierania ciepła do magazynowania wiąże się ze wzrostem objętości zbiornika gazowego CO<sub>2</sub> i wypieraniem w głąb ziemi wody złożowej. Powoduje to pewien wzrost ciśnienia w zbiorniku gazowym. Pobieranie wody złożowej z okolic zbiornika gazowego do wypełniania dna zbiornika z ciekłym CO<sub>2</sub>, zmniejsza to zjawisko. W pewnym stopniu wówczas, część wód złożowych stale przemieszcza się jedynie w obrębie zbiorników. Skutkuje to zmniejszeniem ubytku CO<sub>2</sub>. Ciekły CO<sub>2</sub> zbiornikowy rozpuszczał się będzie na styku obu cieczy dużo słabiej, ze względu na znaczne już nasycenie nim napływającej wody. Jeśli zbiornik głęboki utworzony został w miejscu po wyeksploatowanym złożu ropy naftowej, przepływ ciekłego CO<sub>2</sub> przez pory skały zbiornikowej wypłukiwał będzie jej pozostałości. Szczególnie, gdy w miejscach roponośnych będzie magazynowany.

Porowata struktura skały zbiornikowej eliminuje konwekcję i sprawia, że rozpuszczanie CO<sub>2</sub> odbywa się jedynie w obszarze przemieszczającego się frontu rozdziału obydwu cieczy. Korzystne jest również działanie odwrotne, gdy woda głębinowa wypierana ze zbiornika ciekłego CO<sub>2</sub>, wypływa pod front graniczny gazowego CO<sub>2</sub>. Rozwiązanie to nie powoduje zwiększenia strat CO<sub>2</sub>. Część dwutlenku węgla rozpuszczonego w wodzie przejdzie do fazy gazowej na skutek spadku rozpuszczalności przy niższym ciśnieniu. Ten CO<sub>2</sub> zasili zbiornik gazowy.

Korzystne jest uzupełnianie ubytków CO<sub>2</sub> przez wtłaczanie ciekłego gazu rurą do zbiornika głębokiego. Wypychana jest wówczas warstwa zawadzonego, ciekłego CO<sub>2</sub> w kierunku zbiornika gazowego. Przestrzeń zbiornika ciekłego jest lepiej wykorzystana.

Uzupełnianie ubytków CO<sub>2</sub> jest jednocześnie procesem sekwestracji. Dodać trzeba, że nawet wówczas, gdy szczelność warstw geologicznych nie jest stuprocentowa i w skali dziesięcioleci pewien procent dostanie się do atmosfery, to w przypadku ciągłej takiej sekwestracji, będzie to zjawisko identyczne z wymianą węgla, która ma miejsce w sposób naturalny. W naturze, z jednej strony zjawisko fotosyntezy a z drugiej utlenianie materii organicznej, utrzymują pewien stan równowagi pomiędzy węglem w postaci CO<sub>2</sub> atmosferycznym i tym związanym w środowisku biologicznym, na powierzchni ziemi. W uproszczeniu, sekwestracja zastępuje pewien obszar lasu.

Dwutlenek węgla krążący jako substancja magazynująca ciepło w strukturach podziemnych jest wyłączony z oddziaływania na atmosferę.

Sposób magazynowania ciepła został przedstawiony schematycznie w przykładzie wdrożenia.

### Przykład wdrożenia

Do przykładu wdrożenia odnoszą się cztery figury.

Fig. 1 Schemat magazynowania ciepła we wgłębnej strukturze geologicznej.

Fig. 2 Schemat pracy zespołu rury (8) łączeniowej w czasie pobierania ciepła do magazynowania.

Oznaczenia linii są następujące:

|                              |                                     |                     |
|------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| ..... CO <sub>2</sub> gazowy | --- CO <sub>2</sub> gazowy + Ropa   | ..... Propan gazowy |
| --- Ropa                     | ----- CO <sub>2</sub> ciekły + Ropa | ----- Propan ciekły |

Fig. 3 Schemat pracy zespołu rury (8) łączeniowej w czasie oddawania magazynowanego ciepła.

Oznaczenia linii są następujące:

|                            |                                          |                     |
|----------------------------|------------------------------------------|---------------------|
| ..... Metan                | - - - - - CO <sub>2</sub> ciekły + Metan | ..... Propan gazowy |
| --- CO <sub>2</sub> ciekły | ..... CO <sub>2</sub> gazowy + Metan     | ----- Propan ciekły |

Fig. 4 Schemat pracy magazynu ciepła przedstawiony na wykresie Entalpia – Ciśnienie.

Przykładowy magazyn ciepła, zlokalizowany jest w miejscu, gdzie znajduje się wyeksploatowana kopalnia ropy naftowej i gazu ziemnego (Fig. 1). Na głębokości 1500–1600 m znajdowało się w piaskowcowej skałe F zbiornikowej złożo ropy naftowej i gazu ziemnego podścielone wodami solankowymi, powstałe na wypiętrzeniu skały G pierwotnej. Zasobność złoża wyniosła 30 mln Nm<sup>3</sup> gazu i 20 mln ton ropy. Złożo zamyka łupkowa skała E, macierzysta, nad którą znajduje się warstwa nieprzepuszczalnego piaskowca D. Wyżej zalega warstwa przepuszczalnego piaskowca C wypełnionego solanką. W niej, podstropowo, na głębokości 200–300 m znajdowało się złożo gazu ziemnego o zasobności 100 mln Nm<sup>3</sup>. Nad warstwą solankową, nasyconą gazem ziemnym, znajduje się warstwa nieprzepuszczalnych ilów B a nad nimi znajduje się nadkład A. Z czasu eksploatacji złoża głębokiego pozostały dwa odwierty.

Odwiert z rurą 1, wierzchołkowy złoża głębokiego do wydobywania gazu i odwiert z rurą 2, boczny, do wydobywania ropy. Do złoża płytkiego wydrążony został jeden odwiert z rurą 3, wydobywczy gazu. Miejsce zalegania gazu w złożu płytkim przekształcono w zbiornik 4 płytki, do magazynowania gazu H dwutlenku węgla a miejsce głębokiego zalegania gazu i ropy przekształcono w zbiornik 5 głęboki, do magazynowania cieczy I dwutlenku węgla. Wszystkie trzy odwierty zostały wykorzystane dla potrzeb magazynu ciepła. Rura 2 odwiertu bocznego została poddana perforacji na wysokości górnej warstwy piaskowca C i zaślepiona od góry, po zassaniu solanki. Rura 1 odwiertu wydobywania gazu ze złoża głębokiego została wykorzystana do tłoczenia i poboru cieczy I CO<sub>2</sub>. Rura 3 odwiertu do złoża płytkiego wykorzystywana jest do zatłaczania i pobierania gazu H CO<sub>2</sub>. Dodatkowo dla poprawy wydajności przetłaczania gazu H CO<sub>2</sub> zostały wykonane dwa dodatkowe odwierty. Jeden zawiera rurę 6 do dodatkowego zatłaczania i pobierania gazu H CO<sub>2</sub>. Drugi dodatkową rurę 7 solankową do złoża głębokiego. Na powierzchni ziemi rura 1, cieczy I CO<sub>2</sub> i rury 3 i 6 gazu H CO<sub>2</sub>, są połączone poziomą rurą 8 z wymiennikiem 9 ciepła. Rura 8 pozioma z wymiennikiem 9 tworzą zespół urządzeń wykorzystywanych różnie w zależności od fazy procesu magazynowania (kierunku przepływu CO<sub>2</sub>). Zespół urządzeń rury poziomej posiada jeden wymiennik 9 ciepła, wykorzystywany zarówno do pobierania jak i oddawania ciepła. Wymiennik 9 jest konstrukcją płaszczowo-rurową. Posiada zespół pionowych rur, którymi przepływa gaz H lub ciecz I CO<sub>2</sub>. Przestrzeniami międzyrurowymi przepływa gazowy lub ciekły propan, jako medium dostarczające lub odbierające ciepło z sieci.

Zespół rury 8 łączeniowej w czasie pobierania ciepła do magazynowania (Fig. 2). Rura 1 cieczy H CO<sub>2</sub>, ze zbiornika 5 głębokiego, połączona jest poziomą rurą 8 z zespołem pobierania ciepła. Rura 8 pozioma, poprzez zawór 10 rozprężny doprowadzona jest do dolnej głowicy rozprzeczania CO<sub>2</sub> wymiennika 9, pod zespół pionowych rur. Pionowe rury w głowicy górnej wychodzą ponad płytę sitową. Przestrzeń górna, pomiędzy zespołem powstałych w ten sposób króćców, jest miejscem gromadzenia się frakcji ciekłej (ropy naftowej i wody), która pozostała po odparowaniu CO<sub>2</sub>. Bezpośrednio nad górną płytą sitową znajduje się w cylindrze wymiennika boczny króciec, odprowadzający frakcję ciekłą. Rura wylotowa z głowicy górnej połączona jest z rozdzielaczem 11 gazu H CO<sub>2</sub> i nie oddzielonej wcześniej frakcji ciekłej. Wylot CO<sub>2</sub> z rozdzielacza 11 połączony jest z zaworem 12 rozprężnym i następnie dalej rurą 8 do rur 3 i 6 w głąb ziemi, do zbiornika 4 płytkiego. Rury 3 i 6 na całej wysokości zbiornika 4 płytkiego są perforowane. Do górnej przestrzeni wymiennika 9, pomiędzy zespół pionowych rur, doprowadzony jest, poprzez sprężarkę turbinową 13, gazowy propan z sieci gazowego propanu (SGP). Od dolnej przestrzeni, z cylindra wymiennika 9, poprowadzony jest przewód rurowy odprowadzania ciekłego propanu do sieci ciekłego propanu (SCP). Wyływ pod ciśnieniem 10 bar dławiony jest zaworem 14. Zespół rury łączeniowej w czasie oddawania magazynowanego ciepła. (Fig. 3). Rura 3 gazu H CO<sub>2</sub>, poprowadzona ze zbiornika 4 płytkiego, połączona jest z zespołem rury 8 łączeniowej, zawierającym sprężarkę 15, turbinową, połączoną tłocznie z górną głowicą wymiennika 9. Komora głowicy dolnej wymiennika 9 posiada na dole odpływ cieczy I CO<sub>2</sub> z wykroploną wodą, regulowany zaworem 16, pływakowym i wspomagany pompą 17. Głowica ta posiada też boczny króciec z rozdzielaczem 18 do odprowadzania metanu. Poprzez odgałęźnik do rury 8 odpływowej, ciekły CO<sub>2</sub> tłoczony jest rurociągiem 1 w głąb ziemi, do zbiornika 5 głębokiego. Przez cylinder boczny wymiennika 9, do dolnej przestrzeni między rurowej, doprowadzony jest z sieci ciekłego propanu (SCP) przewód z ciekłym propanem pod ciśnieniem 8 bar a od górnej, przewód odpływowy gazowego propanu pod ciśnieniem 5 bar do sieci gazowego propanu (SGP). Do przewodu rurowego, wypływowego ciekłego propanu z wymiennika 9 doprowadzona jest boczna rura 19 doprowadzania cieczy I CO<sub>2</sub>, spoza wymiennika 9 przemiany fazowej.

**Sposób pracy.** Magazyn ciepła pracuje w ten sposób, że gromadzi nadwyżki ciepła występujące latem i oddaje je zimą. Ciepło oddawane jest i pobierane przez propan jako medium przesyłowe odrębnej sieci. W pełnym cyklu magazynowym uczestniczy 200 000 t dwutlenku węgla. Jeden pełny cykl magazynowy trwa 12 m-cy.

Termodynamicznie pełny cykl roczny opisany jest na wykresie log p – h (Wyk. 1).

Poniżej znajduje się opis punktów charakterystycznych wykresu przemian CO<sub>2</sub> w wybranych typowych momentach, uwarunkowanych poziomami magazynowanego CO<sub>2</sub>.

Pobieranie ciepła do magazynu

1" – 2" Pobieranie gazu H CO<sub>2</sub>, ze zbiornika 4 płytkiego, magazynowanego pod ciśnieniem 30 bar i temp. 15°C i izentropowe sprężanie do ciśnienia 50 bar i temp. 50°C.

2" – 3" Izobaryczne schładzanie w wymienniku 9 ciepła do temp. 12°C. Następuje skroplenie gazu H CO<sub>2</sub>. Przepływający przez wymiennik 9 propan zostaje odparowany i z pobranym ciepłem płynie do sieci.

3" – 4" Ciekły I CO<sub>2</sub> pompa spręża do ciśnienia 76 bar na wlocie do rury 1 do zbiornika 5 głębokiego.

4" – 5" Ciekły I CO<sub>2</sub> płynie do zbiornika 5 głębokiego, wypierając solankę. Na wlocie do zbiornika 5 ciśnienie wynosi 170 bar i temp. 15°C.

5" – 6" Magazynowana ciecz I CO<sub>2</sub> dochodzi do równowagi termodynamicznej, przy ciśnieniu 166 bar i temp. 50°C.

6" – 7" Przepływ pobieranej cieczy I CO<sub>2</sub> do zaworu rozprężnego. Ciśnienie 100 bar i temp. 50°C.

7" – 8" izobaryczne rozprężanie cieczy I CO<sub>2</sub>, za zaworem 10 rozprężnym. Przy ciśnieniu 36 bar i temp. 10°C następuje odparowanie i pobranie ciepła do magazynowania od gazowego propanu napływającego z sieci.

8" – 9" Zatlóczenie gazu H CO<sub>2</sub> do zbiornika 4 płytkiego i rozprężenie do ciśnienia 33 bar i temp. 2°C.

9" – 1" Pobranie przez gaz H CO<sub>2</sub> ciepła geotermicznego i osiągnięcie stanu równowagi termodynamicznej przy ciśnieniu 30 bar i temp. 15°C. W czasie miesięcy letnich ciecz I CO<sub>2</sub> płynąca ze zbiornika 5, głębokiego, pobiera 26 000 GJ ciepła od gazowego propanu dostarczanego z sieci (ponad 73 000 t propanu). W okresie zimy pobrany ze zbiornika 4, płytkiego, gaz H CO<sub>2</sub> po doprężeniu dostarczył 51 000 GJ ciepła. W tej ilości ciepła, 44% to pozyskane ciepło geotermiczne.

Pobierana ze zbiornika 5 głębokiego ciecz I CO<sub>2</sub> zawierała średnio 4,8% ropy naftowej. W wyniku odparowania CO<sub>2</sub> uzyskano 10 000 t ropy.

Pobierany ze zbiornika 4, płytkiego, gaz H CO<sub>2</sub> zawierał średnio 5% gazu ziemnego. Po rozdzielaniu, w wyniku skroplenia CO<sub>2</sub>, uzyskano 8 200 000 Nm<sup>3</sup> gazu wysokometanowego.

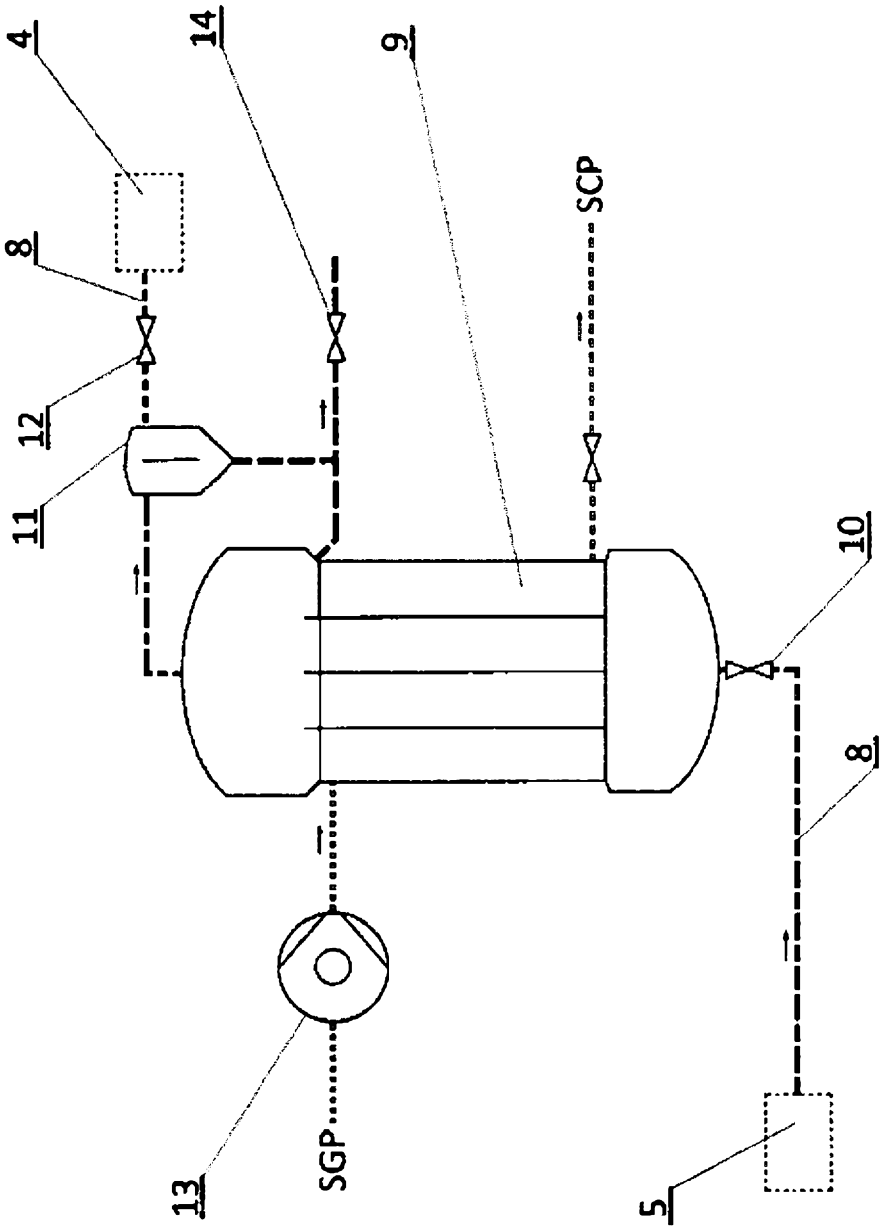
### Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób magazynowania ciepła z wykorzystaniem energii przemiany fazowej, **znamienny tym**, że substancją magazynującą ciepło jest gaz (H) dwutlenku węgla, magazynowany w zbiorniku (4) podziemnym, o naturalnym ciśnieniu geologicznym nie większym niż 74 bar, ze stałym dopływem wód głębinowych, który w celu skroplenia wydobywany jest na powierzchnię do wymiennika (9) ciepła, by następnie jako ciecz (I) zostać zatlóczonym do drugiego podziemnego zbiornika (5) magazynowego z cieczą, (I) dwutlenku węgla, usytuowanego głębiej, a proces pobierania ciepła do magazynowania odbywa się tą samą drogą lecz w przeciwnym kierunku, by ciecz (I) dwutlenku węgla w wymienniku (9) ciepła pobrała ciepło parowania, zanim jako gaz (H) dwutlenku węgla zatlóczony zostanie do podziemnego zbiornika (4) gazu (H) dwutlenku węgla.
2. Sposób wg zastrz. 1, **znamienny tym**, że ciecz (I) dwutlenku węgla magazynowana jest w miejscu wyeksploatowanego złoża (E) ropy naftowej.
3. Sposób wg zastrz. 1, **znamienny tym**, że ciecz (I) dwutlenku węgla magazynowana jest w szczelinowanej skale (E) zbiornikowej.
4. Sposób wg zastrz. 1, **znamienny tym**, że w podziemnym zbiorniku (5) cieczy (I) dwutlenku węgla panuje ciśnienie równe przemianie fazowej.
5. Sposób wg zastrz. 1, **znamienny tym**, że w podziemnym zbiorniku (5) cieczy (I) dwutlenku węgla panuje ciśnienie większe, niż ciśnienie przemiany fazowej.
6. Sposób wg zastrz. 1, **znamienny tym**, że do zbiornika (5) cieczy (I) dwutlenku węgla stale dopływają wody głębinowe.
7. Sposób wg zastrz. 1, **znamienny tym**, że wody głębinowe z wnętrza zbiornika (5) cieczy (I) dwutlenku węgla dopływają do strefy wód o podwyższonym stężeniu dwutlenku węgla powstałych, na skutek oddziaływania zbiornika (4) gazu (H) dwutlenku węgla.
8. Sposób wg zastrz. 1, **znamienny tym**, że do zbiornika (5) cieczy (I) dwutlenku węgla dopływa ciecz (I) dwutlenku węgla przewodem (19) rurowym, spoza wymiennika (9) ciepła przemiany fazowej.
9. Sposób wg zastrz. 1, **znamienny tym**, że w wymienniku (9) ciepła przemiany fazowej panuje taka temperatura, która uniemożliwia zamarzanie wody.





Fig.2



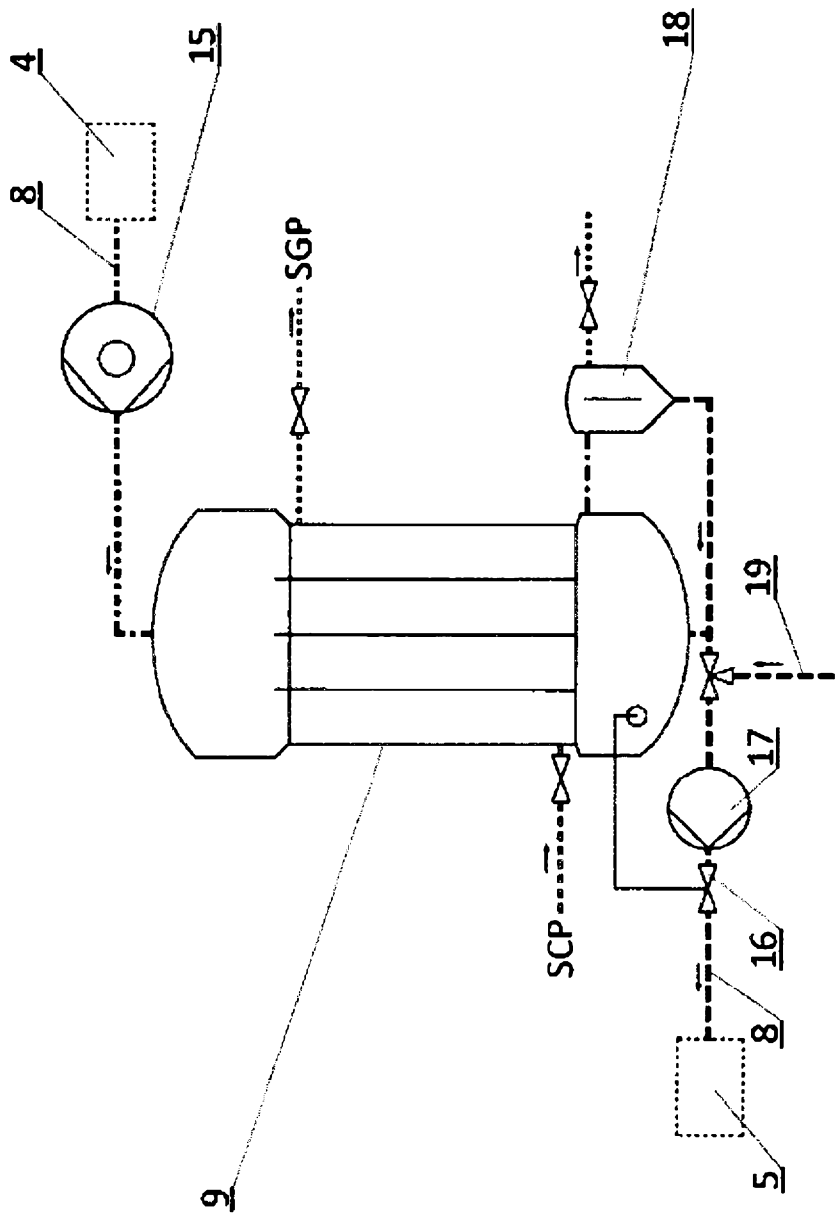


Fig. 3

